

EVIDENCIA ISOTÓPICA DE CAMÉLIDOS Y VEGETALES MODERNOS EN LA PUNA SUR. RELEVANCIA PARA LA ARQUEOLOGÍA DE LA REGIÓN

Héctor Panarello¹ y Mariana Mondini²

RESUMEN

Con el fin de contribuir a una ecología isotópica en la Puna Sur que pueda aplicarse a diferentes contextos arqueológicos, se realizó un estudio exploratorio de isótopos de carbono y nitrógeno en muestras vegetales y faunísticas modernas en Antofagasta de la Sierra, Catamarca. Se presentan aquí los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de diez especímenes de camélido -cinco vicuñas (*Vicugna vicugna*) y cinco llamas (*Lama glama*) - y de treinta y dos especímenes vegetales silvestres procedentes de altitudes entre 3300 y 4250 msnm. Los ejemplares de camélido muestran valores de $\delta^{13}\text{C}$ que promedian -20,0‰, variando entre -22,9‰ y -16,3‰, y valores de $\delta^{15}\text{N}$ que varían entre 4,2‰ y 6,5‰, con una media de 5,4‰. Entre las muestras de vegetales, el $\delta^{13}\text{C}$ promedia -23,6‰, con un rango entre -13,4‰ y -27,8‰, y el $\delta^{15}\text{N}$ promedia 2,1‰, entre -2,3‰ y 7,3‰. Se corrobora así la dominancia de plantas con vía fotosintética C_3 . Estos rangos de valores isotópicos no muestran una correlación tan atada a la altitud como se ha sugerido en otros estudios, mientras que otros factores como la alimentación con forraje de los animales domésticos y la variable disponibilidad de agua en los distintos sustratos podrían jugar un rol relevante.

PALABRAS CLAVE: Ecología isotópica, $\delta^{13}\text{C}/\delta^{15}\text{N}$, camélidos, plantas silvestres, Puna Sur.

ABSTRACT

With the objective of contribute to an isotopic ecology in the Southern Puna that could be applied to different archaeological contexts, an exploratory isotopic study of carbon and nitrogen was made in vegetal and faunal modern samples from Antofagasta de la Sierra, Catamarca. Here we present the $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values for ten camelid specimens –five “vicuñas” (*Vicugna vicugna*) and five “llamas” (*Lama glama*) – and from thirty-two wild plant specimens from altitudes ranging 3300-4250 masl. Camelid samples display $\delta^{13}\text{C}$ values averaging -20.0‰, ranging from -22.9‰ to -16.3‰, and $\delta^{15}\text{N}$ values from 4.2‰ to 6.5‰, with a mean of 5.4‰. Among plant samples, $\delta^{13}\text{C}$ averages -23.6‰, and ranges -13.4‰ to -27.8‰, and $\delta^{15}\text{N}$ has a mean of 2.1‰, ranging from -2.3‰ to 7.3‰. The dominance of plants with a C_3 photosynthetic path is confirmed. These isotopic value ranges do not display a correlation with altitude as tight as other studies suggest, while other factors such as feeding domestic animals with fodder and the variable water availability across different substrates may be playing a relevant role.

KEYWORDS: Isotopic ecology, $\delta^{13}\text{C}/\delta^{15}\text{N}$, camelids, wild plants, Southern Puna.

Manuscrito recibido en: 30 de junio de 2015.

Aceptado para su publicación: 20 de diciembre de 2015.

¹ Instituto de Geocronología y Geología Isotópica (INGEIS, CONICET-UBA). Ciudad Universitaria, 1428 Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. hector@ingeis.uba.ar

² Laboratorio de Zooarqueología y Tafonomía de Zonas Áridas (LaZTA), IDACOR (CONICET/UNC), Av. H. Yrigoyen 174, 5000 Córdoba, Argentina. Universidad de Buenos Aires, Argentina. mmondini@filo.uba.ar

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, diferentes equipos de investigación han abordado la problemática de la dieta de las poblaciones humanas en el pasado y diferentes cuestiones paleoambientales en los Andes Centro-Sur a través del estudio de los isótopos estables, fundamentalmente los del carbono ($\delta^{13}\text{C}$) y el nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$), en diferentes restos bióticos, antropológicos y arqueológicos (Fernández *et al.* 1991; Yacobaccio *et al.* 1997-1998, 2011; Olivera y Yacobaccio 1999; Calo y Cortés 2009; Mengoni Goñalons 2009, 2014; Pérez y Killian Galván 2011; Killian Galván *et al.* 2012, 2014, 2015; Srur *et al.* 2012; López *et al.* 2013; Gheggi y Williams 2013; Samec *et al.* 2014a; Dantas *et al.* 2014; entre otros). En la Puna Sur o Puna Meridional Argentina, correspondiente ambientalmente a la Puna Salada, estos estudios se han centrado fundamentalmente en huesos humanos (Aranibar *et al.* 2007, Olivera y Grant 2008, Killian Galván y Olivera 2008, Killian Galván y Samec 2012, Olivera *et al.* 2014, entre otros) y de camélidos (Mondini *et al.* 2010, Grant 2014, Mondini y Panarello 2014), así como en menor medida, en cuestiones paleoambientales (por ejemplo Olivera *et al.* 2004).

Estos estudios requieren de una base de conocimiento sobre la ecología isotópica de la región. Para ello, en la Puna se han utilizado tradicionalmente los estudios de Fernández y Panarello (1999-2001a y b), basados en la Puna de Jujuy, al norte del área de interés. En esa misma provincia argentina se han generado recientemente nuevos aportes a la ecología isotópica moderna (Olivera y Yacobaccio 1999; Samec 2011, 2012, 2014; Samec *et al.* 2014a y b, 2015; Yacobaccio *et al.* 2009, 2010). Estos casos de estudio se localizan en la Puna Seca o en la Zona de Transición entre la Puna Seca y la Salada. Sin embargo, no contábamos hasta el momento con información publicada sobre la ecología isotópica actual en la Puna Sur, con las recientes e importantes excepciones de la publicación de Killian Galván y Salminci (2014) sobre plantas cultivadas y la presentación de Grant (2014), que incluye datos isotópicos sobre plantas y camélidos, ambas orientadas a aplicarse en momentos agropastoriles.

Así es que con el objetivo último de comprender los valores isotópicos registrados en restos arqueológicos de la Puna Sur y sus variaciones, se realizó un estudio isotópico exploratorio de flora y fauna moderna, que busca profundizar nuestro conocimiento de la ecología isotópica de la región, teniendo en cuenta que al momento del muestreo no se contaba con información para la misma. En este trabajo presentamos la nueva información de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ generada para especímenes modernos de camélidos silvestres y domésticos y diferentes especies vegetales silvestres en la cuenca de Antofagasta de la Sierra, Catamarca, entre 3300 y 4200 msnm.

Antofagasta de la Sierra se encuentra en la Puna Sur de la Argentina, y corresponde ambientalmente a la Puna Salada (Figura 1). Esta última constituye la zona más árida del altiplano puneño, donde las precipitaciones varían entre 300 mm en el N y E y casi nulas en el desierto de Atacama (Troll 1958, Baied y Wheeler 1993). Fitogeográficamente, el área corresponde a la Provincia Puneña del Dominio Andino, donde la vegetación dominante es una estepa arbustiva, aunque también presenta estepas herbácea, halófila y samófila, así como elementos de tierras más bajas (Cabrera 1976, Cabrera and Willink 1973). Aquí prevalecen las plantas de ciclo fotosintético C_3 , aunque también hay plantas C_4 y CAM. En cambio, en la Provincia Altoandina, que se extiende a mayor altitud (por sobre *ca.* 3000 a 4000 msnm en el NOA), ya no se encontrarían plantas C_4 –aunque un reciente estudio en Jujuy ha encontrado plantas con esta vía fotosintética incluso a más de 4000 msnm (Samec *et al.* 2015)–. Mientras que en las áreas más bajas e intermedias de la cuenca de Antofagasta de la Sierra domina la formación del tolar, compuesta principalmente por arbustos, en las más altas (actualmente por sobre 3900 msnm aproximadamente) domina el pajonal, compuesto de pastizales y diferentes especies herbáceas, donde ya no se registrarían plantas con síndrome Kranz (Cabrera 1976, Cabrera and Willink 1973, Haber 1992, Elkin 1992, Fernández y Panarello 1999-2001a, Olivera 2006, entre otros). Ambas zonas están a su vez surcadas por vegas, asociadas a corrientes de agua. En el registro arqueológico

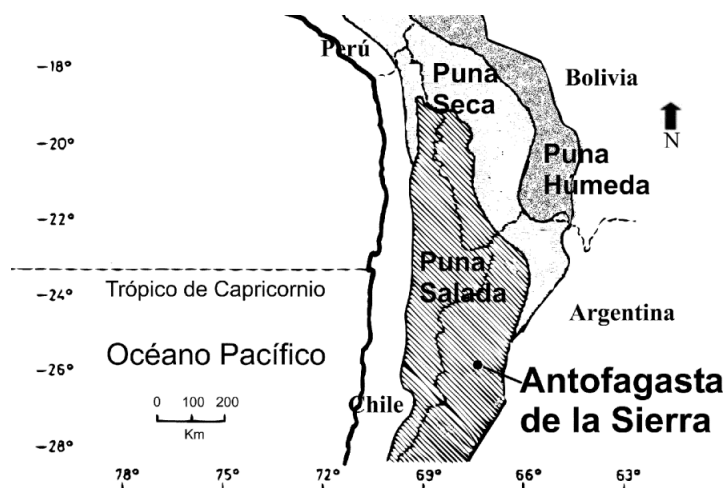


Figura 1. Área de estudio. Adaptado de Troll (1858), Baied y Wheeler (1993), Elkin (1996).

de Antofagasta de la Sierra, las plantas C_3 son dominantes a lo largo del Holoceno, y sólo se registran Cactaceae CAM exóticas luego de ca. 7600 AP, y algunas plantas C_4 después de ca. 3500 AP (Rodríguez 2013a y b, 2014, y bibliografía allí citada). Por otra parte, los camélidos son los ungulados dominantes tanto en el presente como en el pasado, cuando además de las vicuñas (*Vicugna vicugna*) y llamas (*Lama glama*) que continúan habitando estas tierras, se encontraban asimismo los guanacos (*Lama guanicoe*) (Olivera y Elkin 1994, Mondini y Elkin 2014, entre otros).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se presentan aquí los resultados del análisis de las relaciones $^{13}C/^{12}C$ y $^{15}N/^{14}N$ en diez muestras de colágeno óseo de sendos ejemplares de vicuñas ($n=5$) y llamas ($n=5$) muestreados a altitudes entre 3300 y 4200 msnm, así como una treintena de especímenes vegetales ($n=32$) de entre 3500 y 4250 msnm, todos procedentes de la cuenca de Antofagasta de la Sierra, Provincia de Catamarca (Figura 1). Como vimos, las vicuñas y llamas representan el espectro de camélidos silvestres y domésticos, respectivamente, que habitan actualmente en la región, ya que los guanacos, que fueron asiduos habitantes de la misma en gran parte del Holoceno, ya no se encuentran allí, y el rango de la alpaca (*Vicugna pacos*) no alcanza estas latitudes (Wheeler 2012 y bibliografía allí citada).

Los ejemplares de camélido recolectados

en el campo, correspondientes a 10 carcassas de individuos juvenil-adultos cuya historia de vida no es conocida, fueron determinados en el Laboratorio de Zooarqueología y Tafonomía de Zonas Áridas (LaZTA, IDACOR, CONICET-UNC), donde se seleccionaron las muestras a procesar. El procesamiento de las muestras y su análisis isotópico fueron llevados a cabo en el Instituto de Geocronología y Geología Isotópica (INGEIS, CONICET-UBA). Los fragmentos óseos procesados para los análisis isotópicos fueron limpiados con abrasivos y baños ultrasónicos con el fin de remover la contaminación superficial, la parte esponjosa y zonas con potencial alteración diagenética. Luego aproximadamente un gramo de cada elemento óseo (uno por individuo) fue atacado con NaOH (0.1 M) por 24 horas y luego desmineralizado con HCl (2%) por 72 horas, renovando el ácido cada 24 horas. Finalmente, cada muestra fue inmersa en NaOH (0.1 M) por otras 24 horas. El material resultante fue lavado con agua deionizada, y secado en horno a $<60^{\circ}C$ (Tykot 2004).

Los vegetales recolectados en el campo mediante un muestreo exploratorio, que contempló como único criterio que al menos algunos fuesen consumidos por camélidos por observación directa, fueron identificados en la Cátedra de Botánica Agrícola, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires (Tabla 1). La única especie muestreada que tiene el síndrome de Kranz de acuerdo a la literatura es *Distichlis humilis* (Sage

familia	especie
Cyperaceae	<i>Phylloscirpus acaulis</i> (Phil.) Goetgh & D.A. Simpson
	<i>Zameioscirpus atacamensis</i> (Phil.) Dhooge et Goetgh
	<i>Eleocharis pseudoalbibracteata</i> S. González et Gualgl.
Campanulaceae	<i>Lobelia oligophylla</i> (Wedd.) Lammers
Juncaceae	<i>Juncus balticus</i> Willd.
Solanaceae	<i>Fabiana punensis</i> S.C. Arroyo
Asteraceae	<i>Senecio viridis</i> Phil. var. <i>Viridis</i>
	<i>Parastrephia lucida</i> (Meyen) Cabrera
Ephedraceae	<i>Ephedra multiflora</i> Phil. Ex Stapf
Fabaceae	<i>Astragalus</i> sp.
Ranunculaceae	<i>Halerpestes exilis</i> (Phil.) Tamura
Poaceae	<i>Distichlis humilis</i> Phil.

Tabla 1. Especies vegetales muestreadas para este estudio.

y Monson 1999, Grant 2014, entre otros), si bien las plantas con anatomía Kranz no son las únicas que pueden tener una vía fotosintética C_4 (ver por ejemplo Voznesenskaya *et al.* 2001).

Como las muestras de camélidos, las de vegetales también fueron procesadas y analizadas en el INGEIS. De la mayoría de las muestras se seleccionaron hojas, las cuales se guardaron en una prensa entre papel hasta ser procesadas en el laboratorio³. El procesamiento de las plantas implicó una limpieza en baño de ultrasonido con agua bidestilada. Posteriormente, se realizó un secado en horno $T < 60^\circ\text{C}$ por 24 hs. Por último, se procedió a la molienda de las hojas. Tanto los vegetales como los colágenos se pesaron en balanza analítica y se colocaron dentro de una cápsula de plata. Estas fueron introducidas mediante un muestreador automático en un analizador elemental CARLO ERBA EA1108, acoplado a un espectrómetro de masas para relaciones isotópicas (IRMS) Thermo Delta V Advantage mediante una interfaz CONFLO IVTM.

³ Cabe mencionarse que en este paso se cometieron algunas omisiones en el rotulado, que implicaron que la relación entre el rótulo finalmente asignado a algunas muestras (AIE 28607, 28608, 28609, 28613, 28635, 28636, 28637 y 28638) y su determinación resulte ambigua, por lo que preferimos presentarlas aquí como especies indeterminadas, aunque en cada caso que se trata de un rango acotado de las plantas de vía fotosintética C_3 determinadas (ver Tabla 3).

Los resultados se expresan en la forma usual, como desviaciones isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ respecto de las referencias internacionales VPDB y AIR, respectivamente (Gonfiantini 1978, Coplen 1994). La incertidumbre (1σ) es $\pm 0,2\%$ en ambos isótopos.

RESULTADOS

Los ejemplares actuales de camélido de Antofagasta de la Sierra muestran valores de $\delta^{13}\text{C}$ que promedian $-20,0\%$, variando entre $-22,9\%$ y $-16,3\%$ (Tabla 2, Figura 2). Esto sugiere una dieta dominada por especies C_3 , como es esperable en la región. Los valores de $\delta^{15}\text{N}$ en estos camélidos varían entre $4,2\%$ y $6,5\%$, con un promedio de $5,4\%$ (Tabla 2, Figura 2). La razón C/N, que promedia 3,5 (Tabla 2), es coherente con el buen estado de conservación de las muestras, que presentan altos contenidos de colágeno y nitrógeno (ver Clementz 2012 para una síntesis de los criterios empleados).

Las muestras de camélidos no manifiestan una estructuración marcada por altitud (Figura 3). Si bien las muestras por debajo de los 3900 msnm son más abundantes ($n=8$, 80%), lo que podría comportar un sesgo en los resultados, el rango más amplio de valores de carbono y nitrógeno de las mismas es consistente con los estudios previos y específicamente con el recientemente presentado

código INGEIS (AIE)	especie	altitud (msnm)	contexto	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	C/N
28808	vicuña	3300	individuo aislado-fondo de cuenca	-22,9	4,9	3,7
28809	llama	3300	criadero-fondo de cuenca	-20,7	5,8	3,6
28811	vicuña	3400	individuo aislado-sectores intermedios	-19,7	4,6	3,5
28810	vicuña	3400	individuo aislado, cerca de cuerpo de agua-transición fondo de cuenca/sectores intermedios	-20,5	6,5	3,5
28812	vicuña	3400	individuo aislado, cerca de cuerpo de agua-transición fondo de cuenca/sectores intermedios	-17,6	5,3	3,4
28813	llama	3400	corral-transición fondo de cuenca/sectores intermedios	-16,3	6,1	3,4
28807	vicuña	3500	individuo aislado-sectores intermedios	-19,8	4,2	3,4
28817	llama	3500	provista por poblador-sectores intermedios	-20,1	5,6	3,4
28815	llama	4200	individuo aislado-quebrada de altura	-20,4	4,4	3,4
28816	llama	4200	individuo aislado-quebrada de altura	-21,7	6,0	3,5

Tabla 2. Resultados isotópicos obtenidos en las muestras de camélidos.

por Grant (2014) para la misma área. Lo que no se compara con estos estudios es que en los mismos se reportan valores de carbono significativamente más negativos por encima de los 3900 msnm, mientras que aquí encontramos valores tanto o más negativos a altitudes menores.

Sin embargo, si analizamos las mismas muestras en función de su taxonomía, los camélidos silvestres se comportan de modo diferente de los domésticos, en particular en lo que refiere al nitrógeno (Figuras 3 y 4). Las llamas tienden a presentar valores más enriquecidos de nitrógeno, lo que podría estar asociado al forraje con que son alimentadas en el área, si bien desconocemos si los individuos muestreados efectivamente lo fueron (ver también Killian Galván y Salminci 2014). Coincidentemente, Grant (2014) presentó valores de $\delta^{15}\text{N}$ para llamas actuales que muestran un rango más amplio, incluyendo algunos más altos, en los casos en que son alimentadas con forraje complementario respecto a las que no lo son.

Entre las muestras de vegetales modernos

analizadas (n=32), el $\delta^{13}\text{C}$ promedia -23,6‰, con un rango entre -13,4‰ y -27,8‰, y el $\delta^{15}\text{N}$ promedia 2,1‰, entre -2,3‰ y 7,3‰ (Tabla 3). Se corrobora así la dominancia de plantas con vía fotosintética C_3 . Si tomamos exclusivamente estas últimas (n=29), el $\delta^{13}\text{C}$, con un rango más acotado entre -20,9‰ y -27,8‰, promedia -24,6‰ y el $\delta^{15}\text{N}$ promedia 2,0‰.

Si bien las muestras por debajo de los 3900 msnm son más abundantes (n=20, 63%), lo que podría comportar un sesgo en los resultados, el rango de valores de carbono y nitrógeno de las mismas es más amplio (Figura 5), y ello es consistente con los estudios previos y específicamente con el de Grant (2014) para la misma área. Al igual que en este último estudio, encontramos plantas con una vía fotosintética C_4 sólo debajo de los 3900 msnm, donde de todos modos dominan las plantas C_3 . Se trata de tres muestras de *Distichlis humilis* Phil recolectadas en un contexto de vega a unos 3500 msnm, que brindaron valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre -13,8‰ y -13,4‰, y valores de $\delta^{15}\text{N}$ entre 2,4‰ y 4,0‰.

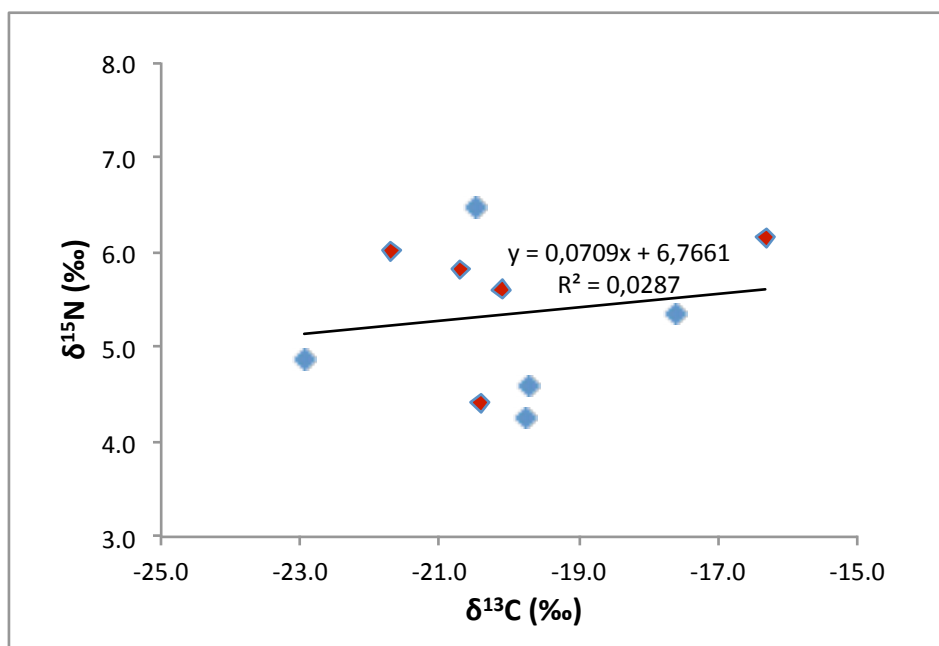


Figura 2. Razón $\delta^{13}\text{C}:\delta^{15}\text{N}$ en las muestras de camélidos. Color azul: vicuñas; color rojo: llamas

Por otra parte, si bien la mayor parte de los vegetales fueron recolectados en contextos de vega, las muestras de la altitud intermedia (3680 msnm) fueron recolectadas por sobre unos farallones ignimbríticos en un área de tolar, representando otro tipo de conjunto vegetal. Este conjunto de muestras contiene las únicas Solanaceae y Ephedraceae muestreadas, y una especie de Asteraceae (*Senecio viridis*), aunque otras muestras de esta última familia provienen de vegas a mayor altitud. Si analizamos los resultados en función del sustrato donde fueron recolectadas las muestras, independientemente de la altitud, se observan algunas diferencias interesantes, especialmente en el nitrógeno, más enriquecido en los contextos de vega (Figura 6).

De todos estos vegetales, los que podrían formar parte de la dieta de estos camélidos presentan un rango más acotado, con valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre ca. -27,9‰ y -21,3‰, y valores de $\delta^{15}\text{N}$ entre 0,8‰ y 3,1‰ aproximadamente (Figura 7). Este rango incluye especies de *Juncus*, *Fabiana*, *Senecio*, *Ephedra* y *Astragalus*, entre otras posibles (indeterminadas).

DISCUSIÓN

En este trabajo se presentan nuevos aportes a la ecología isotópica de los mamíferos

ecológicamente dominantes de la Puna, los camélidos –tanto silvestres como domésticos–, y de varias de las especies vegetales silvestres que habitan en la región, así como los primeros datos publicados en ambos casos para la Puna Salada (pero ver Grant 2014, Killian Galván y Salminci 2014). Si bien las muestras son aún pequeñas, esta información nos permite complementar la que estaba disponible en la Puna Seca, y dar mayor cuenta de la variabilidad esperable en la ecología isotópica en estos ambientes desérticos de altura.

Los valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ obtenidos en las muestras de camélidos silvestres y domésticos modernos de Antofagasta de la Sierra no muestran una relación significativa con la altitud, a diferencia de lo observado en otros sectores de la Puna, aunque nuestra muestra de la Puna Sur es aún pequeña. Específicamente, para la Puna de Jujuy se ha propuesto una correlación inversa entre la altitud y los valores de $\delta^{13}\text{C}$ en base a los valores isotópicos de llamas y vicuñas modernas (Yacobaccio *et al.* 2009; Samec 2012, 2014), mientras que en las muestras de Antofagasta de la Sierra presentadas aquí, los valores registrados por encima y por debajo de los 3900 msnm se solapan, incluso si los agrupamos en estos dos sectores altitudinales (Figura 8.1.a). Aunque se observa una media del $\delta^{13}\text{C}$ levemente más negativa en

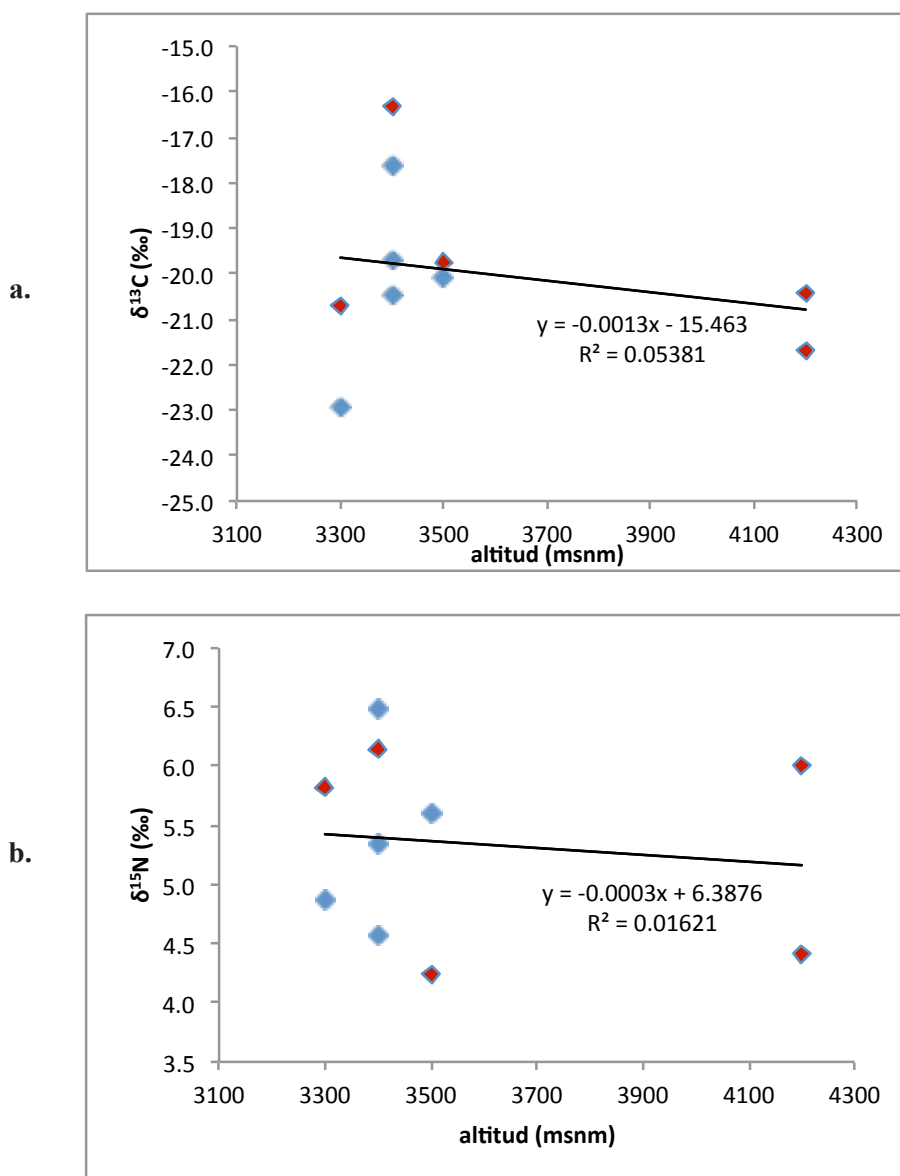


Figura 3. Valores de $\delta^{13}\text{C}$ (a) y $\delta^{15}\text{N}$ (b) por altitud en las muestras de camélidos. Color azul: vicuñas; color rojo: llamas

los camélidos a mayor altitud, tal como observara Grant (2014) en la misma área –si bien en dicho estudio algunas llamas alimentadas con alfalfa por debajo de 3900 msnm presentaron valores más empobrecidos que algunas vicuñas del pajonal–, la principal diferencia en ambos estudios es el rango más acotado de valores en este sector altitudinal. En las muestras de camélidos arqueológicos de Antofagasta de la Sierra analizadas por nosotros (n=47), procedentes de altitudes entre 3665 msnm y 4050 msnm, y de depósitos datados entre ca. 10000 y 6000 AP, tampoco se observó una correlación con la altitud (Mondini y Panarello 2014). Estas últimas muestras presentaron

valores de $-16,9\text{‰}$ $\delta^{13}\text{C}$ promedio (entre $-14,0\text{‰}$ y $-20,1\text{‰}$), sugiriendo posiblemente un mayor consumo de plantas C_4 que entre los camélidos actuales.

Los valores de $\delta^{15}\text{N}$ en los camélidos actuales informados aquí tampoco muestran una relación muy estructurada con la altitud, ni siquiera agrupados en los dos sectores altitudinales señalados como significativos en la literatura (Figura 8.1.b), tal como se observó en los análogos arqueológicos. Entre estos últimos, se infiere un promedio de $7,8\text{‰}$ $\delta^{15}\text{N}$, entre $4,6\text{‰}$ y $10,8\text{‰}$ (Mondini y Panarello 2014), consistentes con la mayor aridez propuesta para el período al

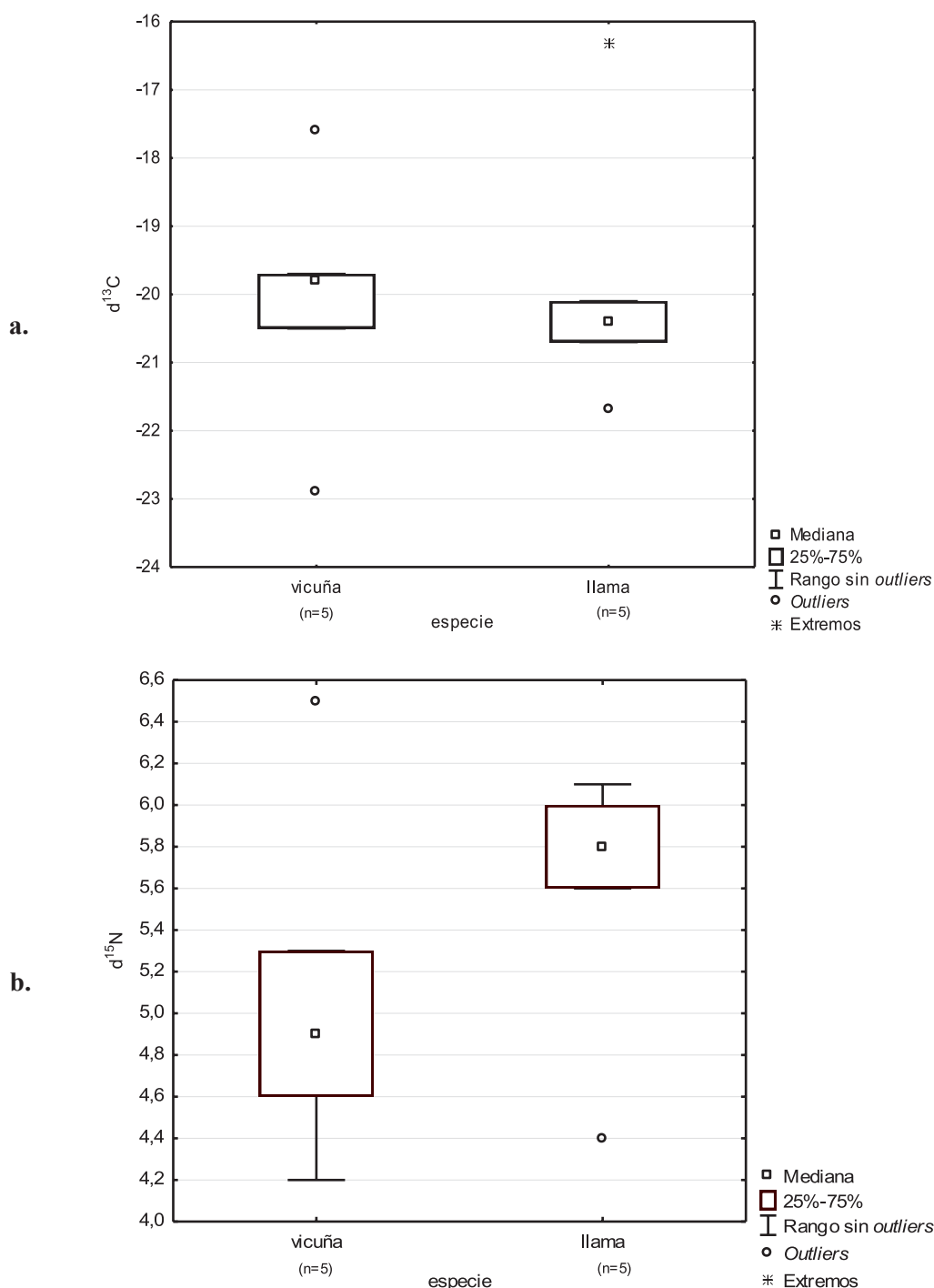


Figura 4. Valores de $\delta^{13}C$ (a) y $\delta^{15}N$ (b) por especie en las muestras de camélidos

que corresponderían de acuerdo a la edad de los depósitos, especialmente el Holoceno Medio. De ser este el caso, lo que deberá indagarse con muestras más amplias y representativas, los camélidos actuales se encontrarían bajo condiciones de menor estrés hídrico que sus parientes del Hispitermal (ver Ambrose 1991, Pate 1994, Sillen *et al.* 1989, entre otros).

Respecto a las diferencias observadas entre las

muestras de camélidos silvestres y domésticos en la actualidad, especialmente en el nitrógeno (más enriquecido en los domésticos), creemos que las mismas podrán deberse potencialmente al uso de forraje complementario en la alimentación de los últimos (ver también Grant 2014, Killian Galván y Salminci 2014).

La variabilidad inferida en la ecología isotópica de los camélidos a lo largo de la Puna nos alerta

EVIDENCIA ISOTÓPICA DE CAMÉLIDOS Y VEGETALES MODERNOS EN LA PUNA SUR. RELEVANCIA PARA LA
ARQUEOLOGÍA DE LA REGIÓN.

código INGEIS (AIE)	familia	especie	altitud (msnm)	sustrato	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
28610	Juncaceae	<i>Juncus balticus</i>	3500	vega	-26,0	5,8
28611	Juncaceae	<i>Juncus balticus</i>	3500	vega	-27,8	2,9
28612	Juncaceae	<i>Juncus balticus</i>	3500	vega	-26,6	7,3
28614	Poaceae	<i>Distichlis humilis</i>	3500	vega	-13,8	2,4
28615	Poaceae	<i>Distichlis humilis</i>	3500	vega	-13,4	4,0
28616	Poaceae	<i>Distichlis humilis</i>	3500	vega	-13,6	4,0
28607	indet.	indet.	3500	vega	-26,6	3,0
28608	indet.	indet.	3500	vega	-26,0	2,6
28609	indet.	indet.	3500	vega	-25,6	0,7
28613	indet.	indet.	3500	vega	-25,4	4,1
28617	Solanaceae	<i>Fabiana punensis</i>	3680	farallones ignimbrita	-23,0	1,5
28618	Solanaceae	<i>Fabiana punensis</i>	3680	farallones ignimbrita	-22,2	-2,1
28619	Solanaceae	<i>Fabiana punensis</i>	3680	farallones ignimbrita	-24,3	-1,0
28620	Solanaceae	<i>Fabiana punensis</i>	3680	farallones ignimbrita	-23,9	1,6
28621	Asteraceae	<i>Senecio viridis</i>	3680	farallones ignimbrita	-25,5	0,9
28622	Asteraceae	<i>Senecio viridis</i>	3680	farallones ignimbrita	-22,1	0,2
28623	Asteraceae	<i>Senecio viridis</i>	3680	farallones ignimbrita	-21,4	0,5
28624	Asteraceae	<i>Senecio viridis</i>	3680	farallones ignimbrita	-22,7	-0,1
28625	Ephedraceae	<i>Ephedra multiflora</i>	3680	farallones ignimbrita	-20,9	-2,3
28626	Ephedraceae	<i>Ephedra multiflora</i>	3680	farallones ignimbrita	-21,3	1,4
28627	Asteraceae	<i>Parastrephia lucida</i>	4250	vega	-24,1	3,8
28628	Asteraceae	<i>Parastrephia lucida</i>	4250	vega	-24,2	5,0
28629	Asteraceae	<i>Parastrephia lucida</i>	4250	vega	-25,0	5,1
28630	Asteraceae	<i>Parastrephia lucida</i>	4250	vega	-23,5	6,4
28631	Fabaceae	<i>Astragalus</i> sp.	4250	vega	-24,7	2,5
28632	Fabaceae	<i>Astragalus</i> sp.	4250	vega	-25,5	0,6
28633	Fabaceae	<i>Astragalus</i> sp.	4250	vega	-25,4	1,0
28634	Fabaceae	<i>Astragalus</i> sp.	4250	vega	-25,4	1,9
28635	indet.	indet.	4250	vega	-26,4	-0,3
28636	indet.	indet.	4250	vega	-26,2	2,8
28637	indet.	indet.	4250	vega	-26,5	0,0
28638	indet.	indet.	4250	vega	-26,1	1,8

Tabla 3. Resultados isotópicos obtenidos en las muestras de vegetales

Para mayores precisiones sobre la taxonomía, ver Tabla 1. Notar que las especies indeterminadas (indet.) de 3500 msnm corresponden a Cyperaceae o Campanulaceae, y las de 4250 msnm, a Cyperaceae o Ranunculaceae (ver Nota 1 para más detalles).

sobre las interpretaciones que podemos realizar de los valores obtenidos en muestras arqueológicas. En nuestro caso de estudio, esta variabilidad no parece atada a la altitud, como sugieren otros

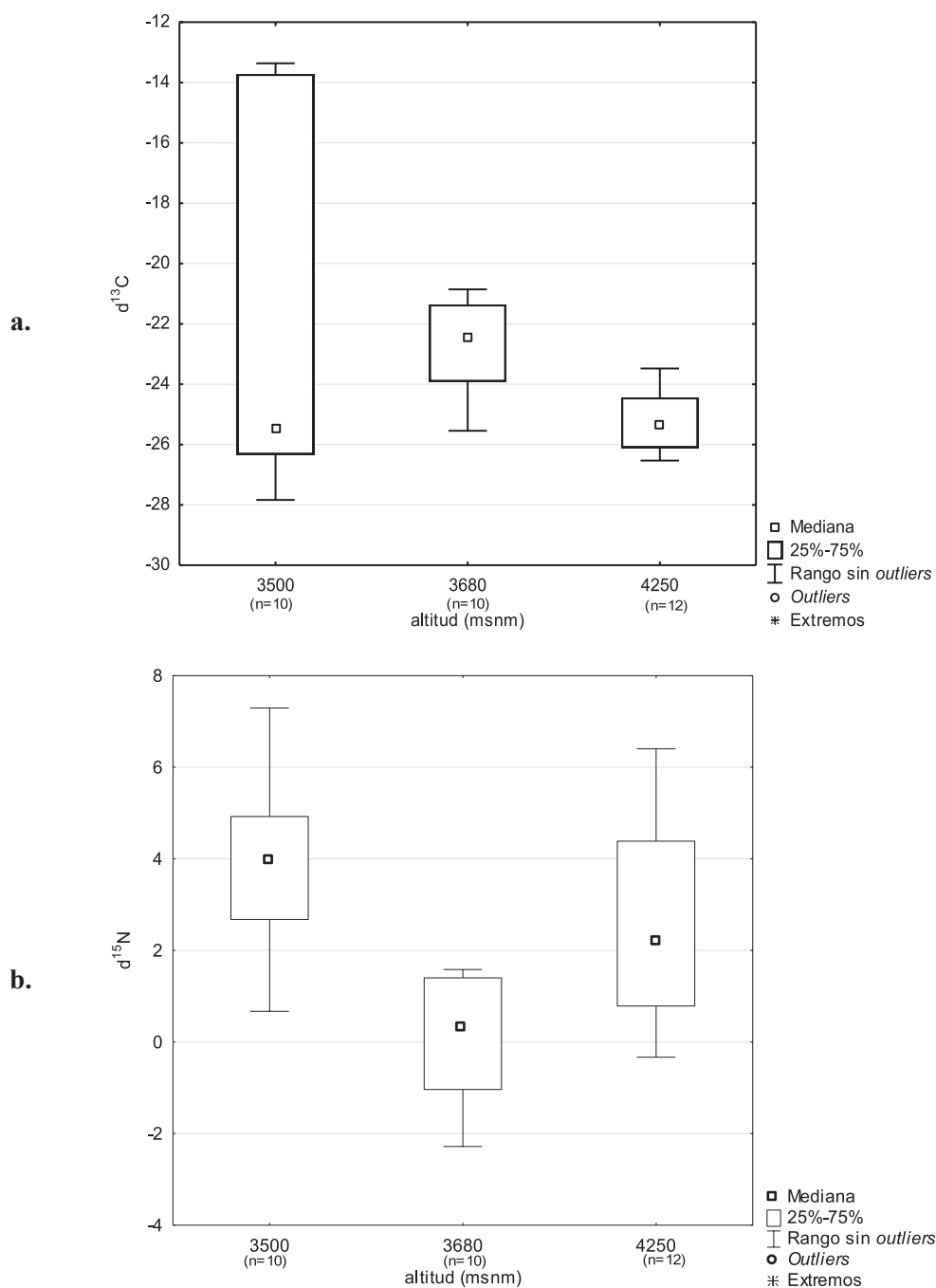


Figura 5. Valores de $\delta^{13}\text{C}$ (a) y $\delta^{15}\text{N}$ (b) por altitud en las muestras de vegetales

estudios, aunque aún en muchos de ellos no explicaría una parte significativa de la varianza. Para comprender su significado necesitamos tener en cuenta dicha variabilidad, considerar una mayor complejidad de factores que la condicionan y profundizar nuestro conocimiento sobre los mismos.

Entre los vegetales, si bien la muestra es todavía pequeña, no se observa una relación significativa entre $\delta^{13}\text{C}$ y la altitud a la que se recolectaron las

muestras, ni tampoco entre $\delta^{15}\text{N}$ y altitud, incluso agrupando las muestras en los sectores a menor y mayor altitud de los 3900 msnm (Figura 8.2). Un reciente estudio sobre plantas de la Puna de Jujuy tampoco halló una correlación significativa entre altitud e isótopos de carbono en las mismas (Samec *et al.* 2015). En nuestro estudio, la media de $\delta^{13}\text{C}$ de las muestras a mayor altitud resulta algo más negativa que la de las muestras situadas más abajo, tal como resulta de las observaciones de

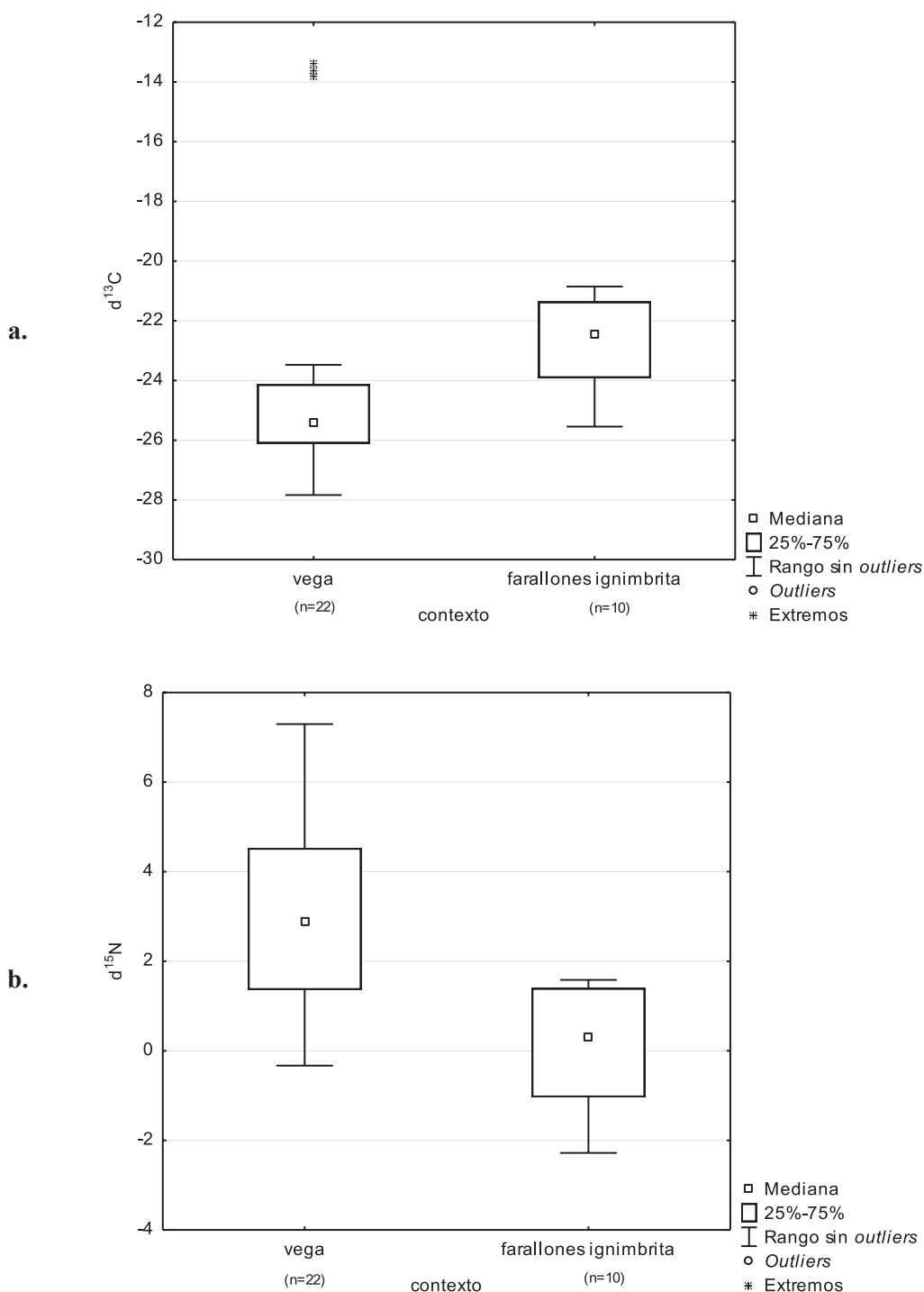


Figura 6. Valores de $\delta^{13}C$ (a) y $\delta^{15}N$ (b) por sustrato en todas las muestras de vegetales

Grant (2014) en la misma área, aunque en nuestro caso la media de $\delta^{15}N$ resulta más positiva, y ambos estudios comparten un registro más amplio de valores en el último caso. Esto último podría tener que ver, al menos en parte, con los diferentes sustratos de los que provienen las muestras, específicamente con la presencia de plantas de sustratos secos con valores de $\delta^{15}N$ muy bajos, mientras que dentro del subconjunto de plantas de

vegas, el nitrógeno se muestra más empobrecido a mayor altitud, algo que deberá investigarse más a futuro. Más allá de estas ligeras variaciones en las medias, los rangos de variación isotópica en ambas categorías altitudinales presentan una amplia superposición, tanto para los isótopos de carbono como para los de nitrógeno. Aquí caben las mismas consideraciones hechas para los camélidos.

Donde sí encontramos diferencias importantes,

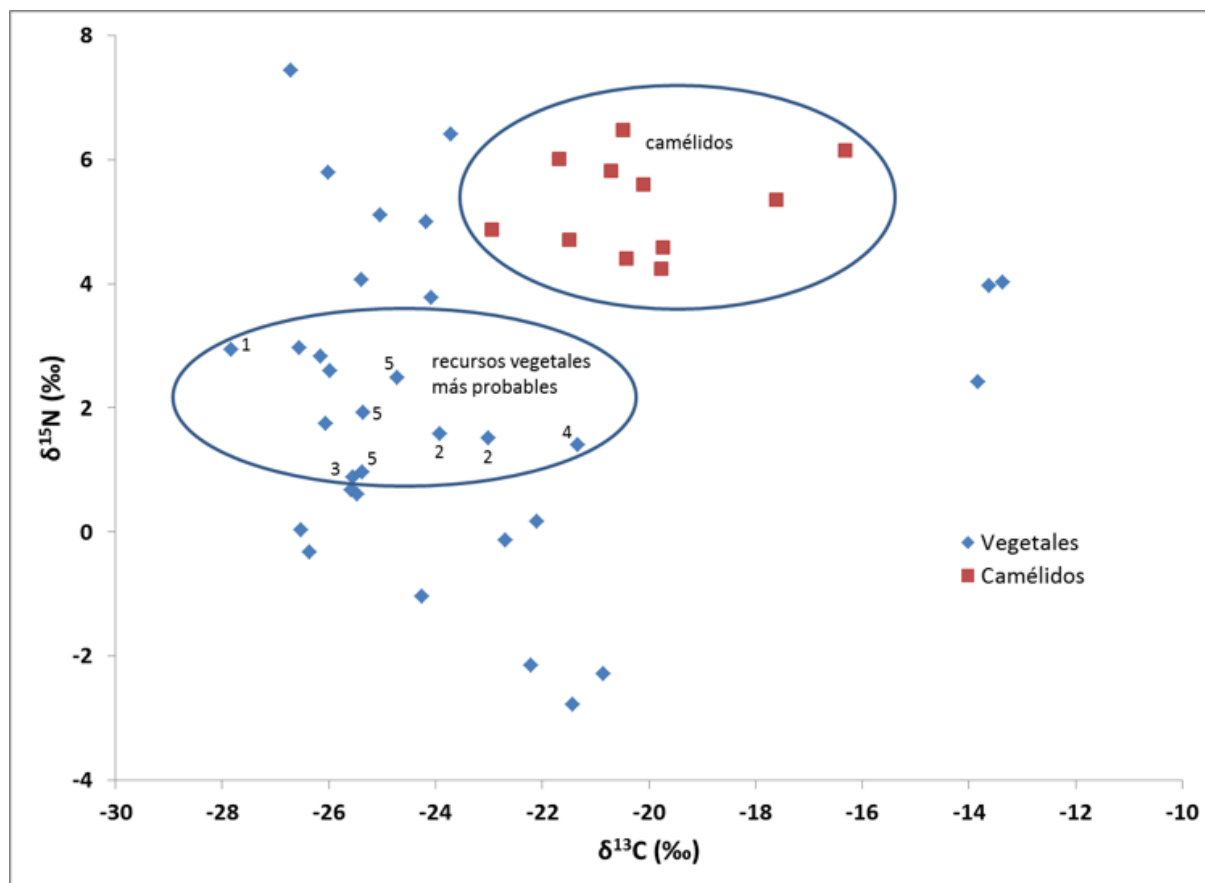


Figura 7. Recursos vegetales más probablemente consumidos por los camélidos entre las muestras analizadas, de acuerdo a sus valores isotópicos

1: *Juncus balticus*; 2: *Fabiana punensis*; 3: *Senecio viridis*; 4: *Ephedra multiflora*; 5: *Astragalus* sp.

que deberán corroborarse en futuros estudios, es precisamente entre ambos indicadores isotópicos y el sustrato donde se recolectaron las muestras (húmedales *versus* sustratos secos), correspondiente a diferentes asociaciones vegetales y a diferente disponibilidad de agua (ver Figura 6). Las plantas de vega sugieren un carbono más empobrecido y sobre todo un nitrógeno más enriquecido, independientemente de la altitud. Esto último plantea diferencias con otros estudios, que sugieren una correlación negativa entre el $\delta^{15}\text{N}$ de plantas y la disponibilidad de agua, como también la influencia de la disponibilidad de agua en el $\delta^{13}\text{C}$ (por ejemplo, Amundson *et al.* 2003, Spack *et al.* 2013, Samec *et al.* 2015, y bibliografía allí citada). Esto muestra la complejidad de factores que pueden influir en la concentración de nitrógeno en estos organismos y sus tejidos.

Creemos que analizar en más detalle las variaciones isotópicas de acuerdo a los sustratos y

disponibilidad de agua, además de la altitud, puede resultar muy informativo para comprender la ecología isotópica de las tierras altas de los Andes Centro-Sur e interpretar las señales isotópicas en el registro arqueológico, especialmente en la escala de cuenca que manejamos aquí. Las variaciones isotópicas y las de los factores que las condicionan se expresan a diferentes escalas, lo que debe ser tenido en cuenta al momento de las interpretaciones. Este estudio ha buscado hacer un aporte en ese sentido, contribuyendo los primeros datos generados sobre plantas silvestres y algunos de los primeros sobre camélidos para la Puna Sur en general y para la cuenca de Antofagasta de la Sierra en particular, generando hipótesis sobre su variabilidad en esta escala, que confiamos podrán contrastarse en sucesivos estudios.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro sincero agradecimiento al

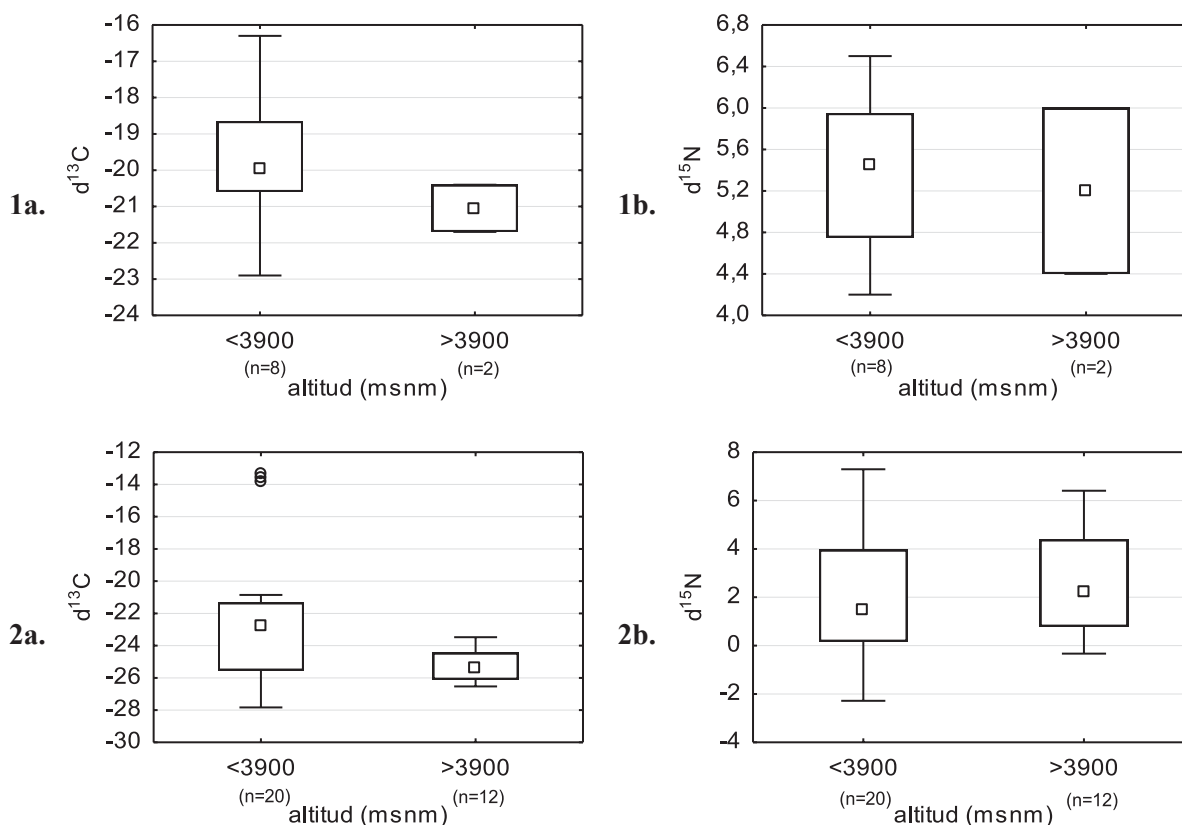


Figura 8. Isótopos de carbono (a) y nitrógeno (b) en las muestras de camélidos (1) y plantas (2) agrupadas en altitudes <3900 msnm y >3900 msnm

personal del INGEIS, y a Elizabeth Pintar, Ana Paula Motta y demás miembros del equipo de Antofagasta de la Sierra que colaboraron en la recolección y preparación de las muestras. A Fernanda Rodríguez y Jennifer Grant por la información y bibliografía que nos facilitaran. A los editores de *Cuadernos del Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano* y a los evaluadores anónimos, que contribuyeron a mejorar este trabajo, aunque toda la responsabilidad por lo aquí expresado es nuestra. La investigación fue financiada con los proyectos UBACyT 20020090200027 (2010-2012) y 20020110100011 (2012-2015), PIP-CONICET 11220100100208 (2011-2013), y SECyT-UNC 05/F812 (2015-2016).

BIBLIOGRAFÍA

AMBROSE, S.

1991. Effects of diet, climate and physiology on nitrogen isotope abundances in terrestrial

foodwebs. *Journal of Archaeological Science* 18:293-317.

AMUNDSON, R., A. T. AUSTIN, E. A. G. SCHUUR, K. YOO, V. MATZEK, C. KENDALL, A. UEBERSAX, D. BRENNER, y W. T. BAISDEN.

2003. Global patterns of the isotopic composition of soil and plant nitrogen. *Global Biogeochemical Cycles* 17(1):1031.

ARANÍBAR, J.; S. M. L. LÓPEZ CAMPENY; M. G. COLANERI; A. S. ROMANO; S. A. MACKO y C. A. ASCHERO.

2007. Dieta y sociedades agropastoriles: análisis de isótopos estables de un sitio de la Puna Meridional Argentina (Antofagasta de la Sierra, Catamarca). *Comechingonia. Revista de Arqueología* 10: 29-48.

BAIED, C. y J. WHEELER.

1993. Evolution of High Andean Puna ecosystems:

- Environment, climate, and culture change over the last 12,000 years in the Central Andes. *Mountain Research and Development* 13:145-156.
- CABRERA, A. L.
1976. Regiones fitogeográficas argentinas. *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería*, vol. 2, parte 1. Buenos Aires: ACME.
- CABRERA, A. L. y A. WILLINK.
1973. *Biogeografía de América Latina*. Serie de Biología. Monografía 13. Washington D. C.: Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos.
- CALO, C. M. y L. CORTÉS.
2009. A contribution to the study of diet of Formative societies in Northwestern Argentina: isotopic and archaeological evidence. *International Journal of Osteoarchaeology* 19: 192-203
- CLEMENTZ, M. T.
2012. New insight from old bones: stable isotope analysis of fossil mammals. *Journal of Mammalogy* 93(2):368–380.
- COPLEN, T.
1994. Reporting of Stable Hydrogen, Carbon, and Oxygen Isotopic Abundances. *Pure & Appl. Chem.* 66(2):273-276.
- DANTAS, M., G. G. FIGUEROA y A. LAGUENS
2014. Llamas in the cornfield: prehispanic agropastoral system in the Southern Andes
International Journal of Osteoarchaeology 24:149–165.
- ELKIN, D. C.
1992. Explotación de recursos en relación al sitio cerámico Quebrada Seca 3, Antofagasta de la Sierra, Puna de Catamarca. *Shincal* 2:1-14.
1996. Arqueozoología de Quebrada Seca 3: indicadores de subsistencia humana temprana en la Puna Meridional Argentina. Tesis de Doctorado. Universidad de Buenos Aires (Facultad de Filosofía y Letras), Buenos Aires. (MS).
- FERNÁNDEZ, J. y H. O. PANARELLO
1999-2001a. Isótopos del carbono en la dieta de herbívoros y carnívoros de los Andes Jujenos. *Xama* 12-14:71–85.
1999-2001b. Los isótopos estables del carbono en pelo de animales silvestres de ambientes altiplánicos de Argentina. *Xama* 12-14: 61-69.
- FERNÁNDEZ, J., V. MARKGRAF, H. O., PANARELLO, M. ALBERO, F. E. ANGIOLINI, S. VALENCIA y M. ARRIAGA
1991. Late Pleistocene/Early Holocene environments and climates, fauna and human occupation in the Argentine Altiplano. *Geoarchaeology* 6(3):251-272.
- GHEGGI, M. S. y V. I. WILLIAMS
2013. New data on food consumption in prehispanic populations from Northwest Argentina (ca. 1000–1550 A.D.): the contribution of carbon and nitrogen isotopic composition of human bones. *Journal of Anthropology* Volume 2013, Article ID 258190 (13 pages).
- GONFIANTINI, R.
1978. Standards for stable isotope measurements in natural compounds. *Nature* 271:534 – 536.
- GRANT, J.
2014. Analyzing agropastoralism from an isotopic perspective: a case study from Antofagasta de la Sierra. *Libro de Resúmenes, 12th International Conference of the International Council for Archaeozoology*, p. 68. FFyH, Universidad Nacional de Córdoba.
- HABER, A.
1992. Pastores y pasturas. Recursos forrajeros en Antofagasta de la Sierra (Catamarca), en relación a la ocupación Formativa. *Shincal* 2: 15-23.
- KILLIAN GALVÁN, V.A. y D. E. OLIVERA
2008. First $\delta^{13}\text{C}$ values for human skeletal remains from South Western Puna (Jujuy, Argentina). *Actas del VI South American Symposium on Isotope Geology*. San Carlos de Bariloche.

KILLIAN GALVÁN, V.A. y P. SALMINCI

2014. Aportes a la ecología isotópica: información actual y sistemas de regadío arqueológicos en la microrregión de Antofagasta de la Sierra (Provincia de Catamarca, Argentina). *Comechingonia. Revista de Arqueología* 18 (primer semestre 2014): 51-72.

KILLIAN GALVÁN, V. A. y C. T. SAMEC

2012. A cada uno su verdad culinaria: patrones paleodietarios y variables ambientales en el NOA. En: *Entre Pasados y Presentes III. Estudios Contemporáneos en Ciencias Antropológicas* (ed. por Kuperszmit *et al.*), pp. 487-508. Colección Investigación y Tesis, Editorial MNEMOSYNE, Buenos Aires. Publicación en CD ROM (ISBN 978-987-1829-21-7).

KILLIAN GALVÁN, V. A., D. E. OLIVERA y E. GALLEGOS

2012. Una aproximación isotópica al consumo de maíz en la localidad arqueológica Río Doncellas (Dpto. de Cochinoca, Prov. de Jujuy). En: *Las manos en la masa. Arqueologías, Antropologías e Historias de la Alimentación en Suramérica* (ed. por M. P. Babot, M. Marschoff y F. Pazzarelli), pp. 319-338. Editorial Corintios, Córdoba.

KILLIAN GALVAN, V.A., N. OLISZEWSKI, D.E. OLIVERA y H.O. PANARELLO

2014. Intraspecific variability in the $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values of archaeological samples of *Zea mays* cobs (Northeastern Argentinean Puna). En: *Physical, Chemical and Biological Markers in Argentine Archaeology: Theory, Methods and Applications* (ed. por D. M. Kligmann y M. R. Morales). BAR International Series 2678, Oxford.

KILLIAN GALVÁN, V., J. MARTÍNEZ, A. CHERKINSKY y M. MONDINI

2015. Stable isotope analysis on human remains from the final Early Holocene in the southern Puna of Argentina: the case of Peñas de las Trampas 1.1. *Environmental Archaeology: The Journal of Human Palaeoecology*, advance article (DOI: <http://dx.doi.org/10.1179/1749631415Y.0000000019>).

LÓPEZ, P., I. CARTAJENA y L. NÚÑEZ

2013. Análisis de isótopos estables en colágeno de huesos de camélidos de Quebrada Tulán, Puna de Atacama, Período Formativo Temprano (ca. 3.100-2.400 A.P.). *Chungara, Revista de Antropología Chilena* 45(2):237-247.

MENGONI GOÑALONS, G. L.

2009. La domesticación de camélidos en el NOA: el aporte de los análisis de isótopos estables. En: *Zooarqueología y tafonomía en el confín del mundo* (ed. por P. López M., I. Cartajena F., C. García P. y F. Mena L.), pp. 133-144. Monografías Arqueológicas N°1, Universidad Internacional SEK-Chile, Facultad de Estudios del Patrimonio Cultural, Área de Arqueología, Santiago de Chile.
2014. Isótopos estables en camélidos del Período Tardío del Noroeste de Argentina (NOA): estrategias de uso y manejo de rebaños. *Revista Chilena de Antropología* 30 (2° semestre 2014):68-75.

MONDINI, M. y D. ELKIN

2014. Holocene hunter-gatherers in the Puna. Integrating bones and other zooarchaeological evidence in Antofagasta de la Sierra (Argentina). En: *Hunter-gatherers from a high-elevation desert. People of the Salt Puna, Northwest Argentina* (ed. por E. Pintar), pp. 117-124. British Archaeological Reports (B.A.R.), International Series 2641, Archaeopress, Oxford

MONDINI, M. y H. PANARELLO

2014. Isotopic evidence in Holocene camelids from the southern Puna. *Libro de Resúmenes, 12th International Conference of the International Council for Archaeozoology*, p. 114. FFyH, Universidad Nacional de Córdoba.

MONDINI, M., H. PANARELLO y A. ZANGRANDO

2010. First isotopic evidence in southern Puna camelids throughout the Holocene. *Abstracts of the oral and poster presentations, 11th Conference of the International Council for Archaeozoology*, p. 189, y publicación electrónica en: www.alexandriaarchive.org/bonecommons/items/

show/1396. Paris (Francia), agosto 2010.

OLIVERA, D. E.

2006. Recursos bióticos y subsistencia en sociedades agropastoriles de la Puna Meridional Argentina. *Comechingonia* 9: 19-55.

OLIVERA, D. E. y D. C. ELKIN

1994. De cazadores y pastores: el proceso de domesticación de camélidos en la Puna Meridional Argentina. En: *Zooarqueología de Camélidos*, vol. 1 (ed. por D. Elkin, C. Madero, G. Mengoni Goñalons, D. Olivera, M. Reigadas y H. Yacobaccio), pp. 95-124. Grupo de Zooarqueología de Camélidos, Buenos Aires.

OLIVERA, D. E., P. ESCOLA, A. M. ELÍAS, S. PÉREZ, P. TCHILINGUIRIAN, P. SALMINCI, M. PÉREZ, L. G. GRANA, J. GRANT LETT-BROWN, A. VIDAL, V. KILLIAN GALVÁN, y P. MIRANDA

2014. El Formativo en la Puna Meridional: de la opción productiva a las sociedades agropastoriles plenas. En: *Crónicas materiales precolombinas. Arqueología de los primeros poblados del Noroeste Argentino* (ed. por M.A. Korstnje y M. Lazzari). UNT, Tucumán.

OLIVERA, D. E. y J. GRANT

2008. Economía y ambiente durante el Holoceno Tardío (ca. 4500-400) de Antofagasta de la Sierra (Puna Meridional Argentina). En: *Temas de Arqueología: Estudios Tafonómicos y Zooarqueológicos* (I) (comp. por A. Acosta, D. Loponte y L. Mucciolo), pp. 99-131. Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano, Buenos Aires.

OLIVERA, D. E., P. TCHILINGUIRIAN y L. GRANA

2004. Paleoambiente y arqueología en la Puna Meridional Argentina: archivos ambientales, escalas de análisis y registro arqueológico. *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología* XXIX: 229-247.

OLIVERA, D. E. y H. D. YACOBACCIO

1999. Estudios de paleodieta en poblaciones

humanas de los Andes del Sur a través de isótopos estables. *Actas del V Congreso Nacional de Paleopatología*, Alcalá la Real, España. (En CD y online: <http://www.ucm.es/info/aep/boletín/actas/24.pdf>).

PATE, F. D.

1994. Bone chemistry and paleodiet. *Journal of Archaeological Method and Theory* 1: 161-209.

PÉREZ, M. y V. A. KILLIAN GALVÁN

2011. Doncellas (Puna Septentrional, Jujuy, Argentina): Nuevos enfoques a partir del estudio cerámico y del análisis paleodietario. *Estudios Atacameños. Arqueología y Antropología Surandinas* 42: 79-100.

RODRÍGUEZ, M. F.

2013a. Acerca de la flora de Antofagasta de la Sierra, Catamarca, Argentina. Ambiente y paleoambiente. *Darwiniana*, Nueva Serie 1(2): 295-323.

2013b. Los grupos humanos y las plantas en la Puna Meridional Argentina: arqueobotánica de Antofagasta de la Sierra. *Intersecciones en Antropología* 14: 315-339.

2014. Archaeobotany and vegetal resources. Settlement systems and mobility in the Argentine South Puna. En:). En: *Hunter-gatherers from a high-elevation desert. People of the Salt Puna, Northwest Argentina* (ed. por E. Pintar), pp. 145-168. British Archaeological Reports (B.A.R.), International Series 2641, Archaeopress, Oxford.

SAGE, R. F. y R. K. MONSON

1999. *C₄ Plant Biology*. Academic Press, San Diego.

SAMEC, C. T.

2011. *Perspectiva isotópica sobre la alimentación de camélidos domésticos y silvestres de la Puna Jujeña: construyendo un marco de referencia para estudios arqueológicos*. Tesis de Licenciatura en Cs. Antropológicas, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires.

2012. Variabilidad dietaria en camélidos de la Puna: un modelo actual a partir de la evidencia isotópica.

- En: *Entre Pasados y Presentes III. Estudios Contemporáneos en Ciencias Antropológicas* (ed. por Kuperszmit *et al.*), pp. 666-683. Colección Investigación y Tesis, Editorial MNEMOSYNE, Buenos Aires. Publicación en CD ROM (ISBN 978-987-1829-21-7).
2014. Ecología isotópica en la Puna Seca Argentina: un marco de referencia para el estudio de las estrategias de pastoreo en el pasado. *Cuadernos del Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano* - Series Especiales 2(1):61-85.
- SAMEC, C.; ARZAMENDIA, Y.; BALDO, J.; PANARELLO, H.; YACOBACCIO, H.
- 2014b. Intra-population variation in carbon and nitrogen isotope composition from bone collagen from modern wild and domesticated camelids in the Dry Puna of Argentina. Trabajo presentado en la 12th ICAZ International Conference of Archaeozoology, San Rafael, septiembre 2014.
- SAMEC, C. T., M. R. MORALES y H. D. YACOBACCIO
- 2014a. Exploring human subsistence strategies and environmental change through stable isotopes in the Dry Puna of Argentina. *International Journal of Osteoarchaeology* 24:134-148.
- SAMEC, C. T., H. D. YACOBACCIO y H. O. PANARELLO
2015. Carbon and nitrogen isotope composition of natural pastures in the dry Puna of Argentina: a baseline for the study of prehistoric herd management strategies. *Archaeological and Anthropological Sciences*, online first (DOI:10.1007/s12520-015-0263-2).
- SILLEN, A., J. SEALY y N. VAN DER MERWE
1989. Chemistry and paleodietary research: no more easy answers. *American Antiquity* 54:504-512.
- SRUR, M. G., A. D. IZETA y M. C. SCATTOLIN
2012. Alimentación de camélidos sudamericanos en los sitios formativos de Cardonal y Bordo Marcial (Catamarca, Argentina): Una aproximación isotópica. *Revista Archaeobios* 6(1):5-18.
- SZPAK, P., C. D. WHITE, F. J. LONGSTAFFE, J.-F. MILLAIRE y V. F. VÁSQUEZ SÁNCHEZ
2013. Carbon and nitrogen isotopic survey of northern Peruvian plants: Baselines for paleodietary and paleoecological studies. *PLoS ONE* 8(1):e53763 (DOI:10.1371/journal.pone.0053763)
- TROLL, C.
1958. Las culturas superiores andinas y el medio geográfico. *Revista del Instituto de Geografía* 5. Universidad Mayor de San Marcos, Lima.
- TYKOT, R. H.
2004. Stable isotopes and diet: you are what you eat. En: M. Martini, M. Milazzo y M. Piacentini (eds.), *Physics Methods in Archaeometry. Proceedings of the International School of Physics "Enrico Fermi" Course CLIV*, 433-444. Bologna, Italy: Società Italiana di Fisica.
- VOZNESENSKAYA, E. V., V. R. FRANCESCHI, O. KIIRATS, H. FREITAG, y G. E. EDWARDS
2001. Kranz anatomy is not essential for terrestrial C₄ plant photosynthesis. *Nature* 414(29):543-546.
- WHEELER, J. C.
2012. South American camelids - past, present and future. *Journal of Camelid Science* 5:1-24.
- YACOBACCIO, H. D., M. P. CATÁ, M. R. MORALES, P. SOLÁ, M. S. ALONSO, M. ROSENBUSCH, C. VÁZQUEZ, C. T. SAMEC, B. I. OXMAN y M. CÁCERES
2011. El uso de cuevas por pastores andinos: el caso de Cueva Quispe (Susques, Puna de Jujuy). En: *Arqueología de la Puna Argentina: perspectivas actuales en el estudio de la diversidad y el cambio cultural* (ed. por G. López y H. Muscio), pp. 33-48. BAR S2296, South American Archaeology Series 16, Oxford.
- YACOBACCIO, H. D., M. R. MORALES y C. T. SAMEC
2009. Towards an isotopic ecology of herbivory in the Puna ecosystem: new results and patterns

- on *Lama glama*. *International Journal of Osteoarchaeology* 19:144–155
- YACOBACCIO, H. D., C. M. MADERO, M. P. MALMIERCA, y M. C. REIGADAS
1997-1998. Caza, domesticación y pastoreo de camélidos en la Puna Argentina. *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología* XXII-XXIII:389-418.
- YACOBACCIO, H. D., C. T. SAMEC y M. P. CATÁ
2010. Isótopos estables y zooarqueología de camélidos en contextos pastoriles de la puna (Jujuy, Argentina). En: *Zooarqueología a principios del siglo XXI: Aportes teóricos, metodológicos y casos de estudio* (ed. por editado por M. A. Gutiérrez, M. De Nigris, P. M. Fernández, M. Giardina, A. F. Gil, A. Izeta, G. Neme y H. D. Yacobaccio), pp. 77-86. Libros del Espinillo, Buenos Aires.